

## ТОЛСТЫЕ ВТСП-ПЛЕНКИ: МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ, АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ $T_c$

Обнаружение явления высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) потребовало разработки получения толстых пленок [1] и аппаратуры для их исследования. В настоящей публикации описана оригинальная аппаратура для создания технологии и исследования свойств толстых ВТСП-пленок.

Получение толстых ВТСП-покрытий химическими методами требует нагрева и охлаждения пленок с заданными скоростями в диапазоне  $0,5 \div 50$  К/мин.

Для линейного развертывания температуры печи отжига пленок было разработано электронное развертывающее устройство (ЭРУ), позволяющее линейно увеличивать или уменьшать температуру печи в диапазоне температур от 300 до 1300 К со скоростями  $0,1 \div 50$  К/мин. Устройство работает совместно с высокоточным регулятором температуры ВРТ-3, что позволяет реализовать высокую линейность развертывания температуры и стабилизацию температур отжига с точностью не менее 0,2% от заданной температуры. Отжиг пленок ВТСП осуществлялся в специально сконструированной печи, имеющей длину однородного температурного поля  $\approx 150$  мм. Печь имеет герметичные уплотнения рабочего объема, что позволяет производить отжиг образцов в токе инертного газа или кислорода.

Упрощенная блок-схема ЭРУ приведена на рис. 1. Задающий генератор вырабатывает импульсы с частотой следования  $\sim 1$  Гц, грубое регулирование скорости развертки осуществляется изменением частоты задающего генератора.

Тонкая регулировка скорости развертки осуществляется в блоке скорости развертки, представляющим собой программно регулируемый делитель числа импульсов. Блок выбора режима осуществляет режимы старт - стоп и

нагрев-охлаждение.

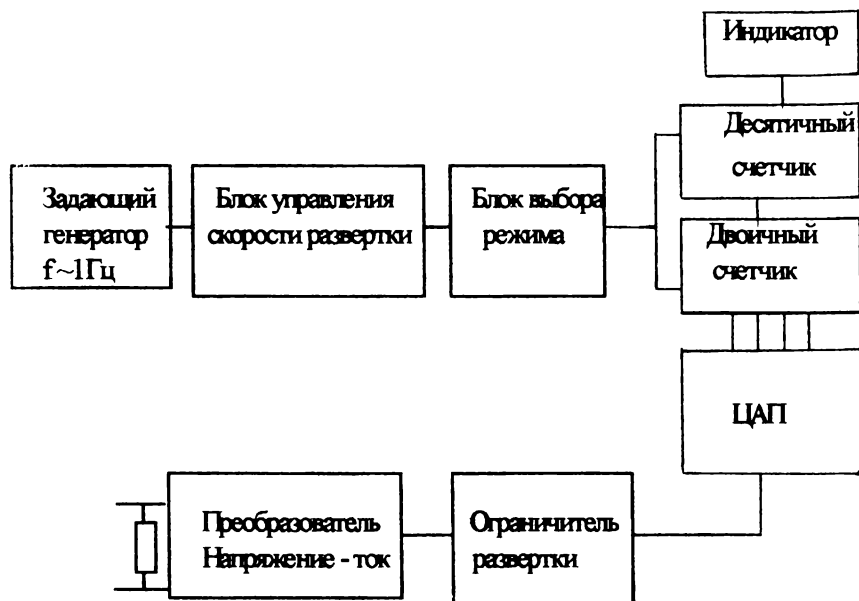


Рис.1. Блок-схема ЗПУ

Десятичный счетчик управляет цифровым табло, отображающим текущую температуру, а выходной код двоичного счетчика управляет 10-разрядным ЦАП. Напряжение с выхода ЦАПа поступает на преобразователь напряжение - ток. Выходной ток преобразователя, проходя через прецизионное сопротивление  $R_{оп}$ , создает на нем падение напряжения, которое и является выходным сигналом ЗПУ, задающим температуру для терморегулятора ВРТ-3.

Наиболее важная информация о природе сверхпроводимости получается при исследованиях сверхпроводника вблизи его  $T_c$  - температуры сверхпроводящего перехода, а также таких параметров, как ширина этого перехода  $\Delta T_c$ , плотность критического тока  $J_c$ , и некоторых других. Для исследования ВТСП-керамик необходимы достаточно большие

транспортные токи, поэтому, чтобы не происходил перегрев образца, исследование его критических токов обычно производится импульсным током большой скважности.

При выполнении данной работы был создан источник тока, способный обеспечивать как постоянный ток величиной 0 - 1 А, так и импульсный ток амплитудой 0 - 10 А при нестабильности силы тока менее 0,1%. Этот же источник служил для снятия вольт-амперных характеристик (ВАХ) и определения критических токов ВТСП-керамик.

Блок-схема источника тока приведена на рис 2. Длительность импульсов тока составляла  $\sim 1$  мс при скважности  $\sim 1000$ . Источник стабильного тока работает по схеме последовательного стабилизатора тока с усилителем в цепи обратной связи. Если на вход усилителя поступает постоянное опорное напряжение, тогда по нагрузке протекает ток согласно формуле  $U_{оп} / R_{оп}$ . При переходе источника тока в режим импульсного тока напряжение  $U_{оп}$  стробируется последовательно-параллельным ключом, причем амплитуда импульсного тока определяется также по приведенной выше формуле.

Ток задается стрелочным прибором класса 0,5, работающим от преобразователя напряжение  $\rightarrow$  ток. С помощью разработанной аппаратуры были получены и изучены свойства толстых пленок иттрий-бариевого купрата состава 1-2-3. Пленки получались методом трафаретной печати (с различными связующими) и методом седиментации на подложках  $Y_2O_3$ , стабилизированного цирконием [2].

Изучались свойства пленок, полученных по двум различным схемам отжига. В первом случае пленки отжигались при 950 - 960 °С на воздухе с последующим охлаждением в токе кислорода (серия 1). Пленки из серии 2 получали из растворов-расплавов (температура отжига 1025 - 1035 °С) в токе Ag с последующим охлаждением в токе  $O_2$ . Как видно из таблицы, температурно-газовый режим отжига пленок существенно влияет на величину их  $J_c$ , которая в пленках, полученных из растворов-расплавов, увеличивается на порядки.

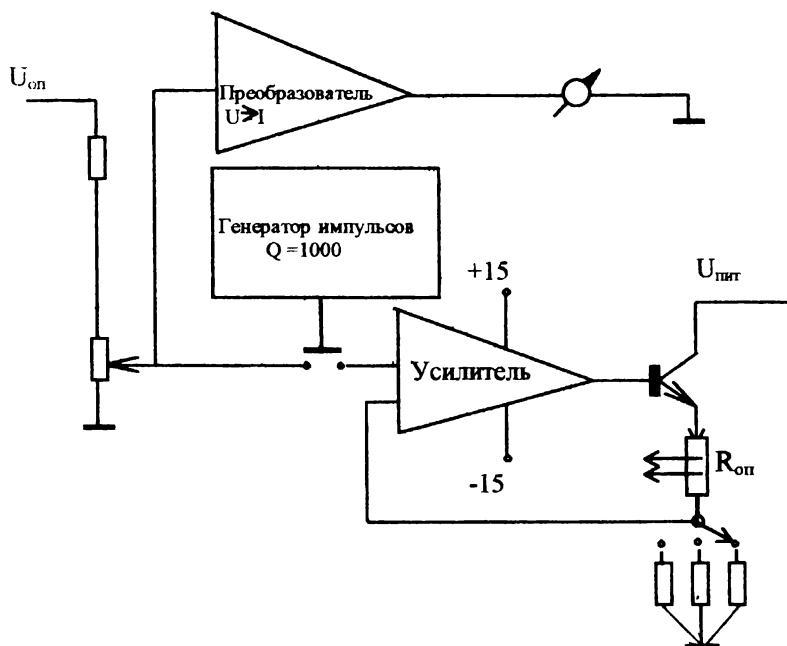


Рис.2. Блок-схема источника тока

### Структурные и сверхпроводящие параметры пленок купрата иттрия - бария состава Y-123

Пленка серии	Толщина $d$ , мкм	Средний размер зерна, мкм	$T_c$ , К	$\Delta T_{\infty}$ К	$J_c$ , А / см <sup>2</sup>	$J_{cG}$ , А / см <sup>2</sup>
1	$130 \pm 20$	5 - 10	91	1,5	$35 \pm 2$	$1,2 \cdot 10^3$
2	$40 \pm 5$	10 - 18	90	2,0	$500 \pm 25$	$1,5 \cdot 10^3$

Обсуждение полученных данных проводилось на основе модели сверхпроводящего стекла, согласно которой пленки в первом приближении могут быть представлены как систе-

ма сверхпроводящих зерен случайной формы, размеров, ориентации и взаимного расположения в матрице керамики, соединенных слабыми джозефсоновскими связями. Наличие этих связей приводит к тому, что величины транспортного критического тока определяются предельным транспортным током, протекающим между зернами. Его величины много меньше, чем внутризеренный критический ток  $J_{cG}$ . Представленные в таблице значения плотности внутризеренного тока оценивались по методике, предложенной в [3]. Их величины хорошо согласуются с данными, полученными из магнитных измерений и рассчитанными по модели Бина. Достигнутые в работе сверхпроводящие параметры толстых пленок позволяют рекомендовать их для использования в криоэлектронной технике.

### Литература

1. Кауль А.Р. Химические методы получения пленок и покрытий ВТСП // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1989. Т. XXXIV, № 14. С. 492.
2. Рывкина Г.Г., Рябин В.А., Маруня М.С. Получение толстых пленок  $YBa_2Cu_3O_{1-x}$  методом трафаретной печати // Структура, свойства и синтез высокотемпературных сверхпроводников: Сб. Свердловск: Изд-во УрО РАН, 1991. С. 155.
3. Макгинис У., Дейкобе Э., Раз К. Определение температуры перехода и критического тока в высокотемпературных сверхпроводниках методом импульсного тока // ПНИ. 1990. №3. С. 32.